

AE

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

A61B 5/055

G01R 33/20

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 99118614.1

[43]公开日 2000年5月17日

[11]公开号 CN 1252977A

[22]申请日 1999.8.31 [21]申请号 99118614.1

[30]优先权

[32]1998.8.31 [33]US [31]09/143,960

[71]申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72]发明人 W·D·巴伯

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

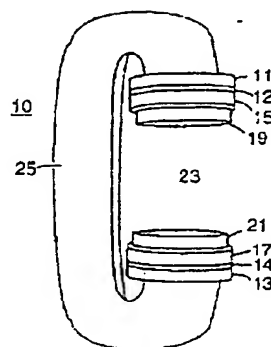
代理人 吴增勇 傅康

权利要求书2页 说明书9页 附图页数4页

[54]发明名称 磁共振成像中的低涡流和低磁滞的磁极面

[57]摘要

开放式磁共振(MR)成像系统的极面由许多具有叠片的块构成。块的叠片这样排列,使得它们平行于所加的随时间变化的磁场的磁通。每一个叠片由非晶材料构成,因此不存在突出的磁场调整。该结构降低了在极面中感生的涡流,降低了剩余磁化强度,因此减少了所获取的图像中的假象。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一种呈现减少的假象的“开放式”磁共振(MR)成像系统, 它至少具有: 极片, 每一个极片具有彼此相对的、限定成象容积的基本上是平面的极面; 具有至少一个励磁线圈和极片的励磁装置,

其特征在于所述极面包括: 多个包括叠片的磁块, 所述叠片由基片隔开并且与该基片结合在一起, 每一个叠片排列成基本上平行于所述极面, 每一个叠片包括非晶铁磁材料。

2. 权利要求 1 的“开放式”MR 成象系统, 其特征在于: 所述非晶材料是铁硼(Fe-B), 以便降低剩余磁化强度。

3. 权利要求 1 的“开放式”MR 成象系统, 其特征在于: 所述非晶材料是铁硼硅(Fe-B-Si), 以便降低剩余磁化强度。

4. 权利要求 1 的“开放式”MR 成象系统, 其特征在于: 所述非晶材料是铁磷(Fe-P), 以便降低剩余磁化强度。

5. 权利要求 1 的“开放式”MR 成象系统, 其特征在于: 所述非晶材料是铁硼(Fe-Ni-B), 以便降低剩余磁化强度。

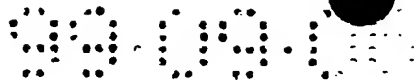
6. 权利要求 1 的“开放式”MR 成象系统, 其特征在于: 所述各块在特定方向上具有相邻块之间的间隔, 选择特定的间隔以便把特定方向上的随时间变化的磁场的磁导率调整到 100-500。

7. 权利要求 1 的“开放式”MR 成象系统, 其特征在于: 具有多个块层。

8. 权利要求 7 的“开放式”MR 成象系统, 其特征在于: 作为对调整在穿过各层方向上的随时间变化的磁场的磁导率的折衷而选择所述多个块层的特定的间隔, 使得这些磁场不穿过极片而使所述极片材料偏磁。

9. 权利要求 1 的“开放式”MR 成象系统, 其特征在于: 所述块由具有小于“趋肤深度”的厚度的叠片构成。

10. 权利要求 1 的“开放式”MR 成象系统, 其特征在于: 所述



块具有大约 80-95%的充填因子。

11. 一种用于从极片接收磁通并优先沿着 X、Y 和 Z 各方向导引磁通的磁通管道，其特征在于包括：包括多层的极面，每一层包括叠片块，所述叠片在 X 和 Y 各方向上彼此隔开，以便适应那个方向上的预定的磁导率。

12. 权利要求 11 的磁通管道，其特征在于：所述块包括由基片隔开的叠片，其中这样选择充填因子、叠片和基片材料，以便适应叠片方向上和垂直于叠片方向上的预定的磁导率。

13. 权利要求 11 的磁通管道，其特征在于：选择各层之间的间隔以便适应 Z 方向上的预定的磁导率。

14. 权利要求 11 的磁通管道，其特征在于还包括：包括所述极片和所述极面之间的材料的实心片的磁通屏蔽，用来降低从其它源进入所述极片的磁通，从而降低所述极片的所述剩余磁化强度。

15. 权利要求 14 的磁通管道，其特征在于：所述磁通屏蔽包括退过火的硅铁。

16. 权利要求 11 的磁通管道，其特征在于：相邻层内的所述块部分重叠，以便控制垂直与平行于所述各层的源磁通的相对量。

17. 权利要求 14 的磁通管道，其特征在于：相邻层内的所述块部分重叠，以便控制垂直与平行于所述各层的梯度磁通的相对量。

18. 权利要求 1 的“开放式”MR 成象系统，其特征在于：将各块的长度、宽度最小化，以便降低涡流。

说明书

磁共振成像中的低涡流 和低磁滞的磁极面

5

本发明涉及磁共振 (MR) 成像, 更具体地说, 涉及用于 MR 成像的开放式磁体的极面。

10

一般在磁共振 (MR) 成像中, 病人被安插在“封闭式”的圆筒状磁体内。在成像期间, 这种装置不允许医生接近病人以便交互式地执行程序。

已经利用“开放式”磁体, 以便允许在成像期间接近病人。但是, 这又遇到了在整个成像容积内形成强大、均匀、同相(homogeneous)的磁场的问题, 尤其是在施加随时间变化的磁场梯度的时候。

15

当利用铁磁材料时, 发出磁场的开放式磁体的表面称作极面。它从附在其上的磁源接收磁通。磁源可以连接或不连接低磁阻 (高磁导率) 铁磁磁通闭合件, 构成“C”形磁通路径。

当把随时间迅速变化的磁场加到极面上时, 问题产生了。因为磁面由导电材料构成, 所以会产生涡流, 这接着又产生与所施加的磁场相反的磁场。

20

随时间变化的磁场的应用还导致在极面材料内产生二次剩余磁场, 它会在所加的磁场被消除之后仍然保留。这被称为材料的磁滞。

涡流和剩余磁化强度两者都使磁场变形, 因此使得从该磁场生成的图像变形。

25

Sakurai 等人 1994 年 2 月 1 日的美国专利 5,283,455 说明了一种以通过使涡流的路径最小化来减少开放式 MR 成像设备中的涡流为目的的装置。该装置采用了由一些块构成的极面。涡流不会在整个极面上流动, 而只是在各块内单独地流动。

Sakurai 还这样构成各叠片块, 让它们与所感生的随时间变化的



磁场平行地排列。这使得在平行于叠片的方向上有较大的磁通磁导率。

Sakurai 的结构确实减少了涡流和剩余磁化强度，但是这些效应还可以进一步减少，并进一步改善图像。

5 目前，需要进一步减少在开放式 MR 成像机中的感生涡流和剩余磁化强度，以便减少所生成的图像中的假象。

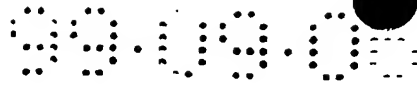
一种开放式磁共振 (MR) 成像系统，由于涡流和剩余磁化强度的减少而呈现较少的假象。它包括一些铁磁极片，各铁磁极片具有限定成像容积的极面。这些面基本上彼此平行。因为通过梯度线圈
10 (gradient coils) 施加随时间迅速变化的磁场来改变所加的静磁场，所以存在极片的导电材料中感生的涡流。还因为所用的材料呈现剩余磁化强度，所以磁通不能准确地跟随所施加的梯度磁场。为了解决这些问题，极片由多个块构成，所述块包括一些叠片。这些叠片各自由不导电的基片隔开并且与非导电基片结合。叠片基本上平行
15 于极面排列，因此平行于极面流动的大多数磁通受导电材料内的涡流的阻碍最小。所加的磁场梯度的这一部分会产生环绕穿过每个叠片的厚度的涡流。因为涡流的路径较短，它们的消散时间常数大大降低，因此与不使用叠片的极片相比，涡流消散大大加快。

所加的磁场梯度的垂直于叠片的部分会产生环绕各叠片的周边的涡流。涡流消散的时间常数由块的表面尺寸确定，与由连续片构成的极片相比，小一些的块使涡流以快得多的速度消散。
20

在给定方向上的这些块的实际尺寸和间隔也影响在该方向上穿过极面的磁通强度。相邻块之间较大的间隔导致平行于各层的磁通减小。

25 也可采用多个块层。各层之间的间隔在影响穿过极片的磁通方面也是很重要的。各层之间的间隔越大，垂直于各层的磁通越小。

通过部分重叠相邻层内的块，控制垂直及平行于各层的磁通的相对量。这是将磁源与磁场梯度之间的性能最佳化的一种方法。



因为许多材料具有多晶结构，这阻碍了剩余磁化强度的改变，所以决定采用具有很少或没有整体晶粒结构的非晶材料。诸如 Fe-B (例如 $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$)、Fe-B-Si、Fe-B-Si-C、Fe-Ni-B 之类的材料可同其它已知的非晶铁磁材料一起用作各极面块的叠片。

5 一般在叠片区域正下方有一个下伏的铁磁支撑结构，一些极片。该区域还具有通常比叠片的更大的矫顽磁场。如果梯度的随时间变化的磁场大到能够穿透叠层（极面），那么该极片的剩余磁化强度状态可以改变。接着，该剩余磁化强度导致偏置磁场，并导致更大地促成图像变形。对该基片材料的磁化强度的控制对于保证图像质量也是很重要的。

10 本发明的目的在于减少利用开放式 MR 成像系统生成的图像中的假象。

本发明的另一个目的在于提供产生比传统系统的更高质量的图像的 MR 成像系统。

15 本发明的再一个目的在于提供用于开放式 MR 成像系统的呈现较少的涡流的极面。

本发明的又一个目的在于提供用于开放式 MR 成像系统的呈现较少的剩余磁化强度的极面。

20 在所附权利要求书中详细阐明本发明的相信是新颖的特征。但是，本发明本身，关于结构与操作方法，及其进一步的优点，可以通过参考以下结合附图的描述得到最好的理解：

图 1 是与本发明相适应的“开放式”磁共振 (MR) 成像系统的一部分的示意的例图。

图 2 是在先有技术的极面中感生的涡流的透视的例图。

25 图 3 是不同材料的呈现剩余磁化强度的磁滞曲线图。

图 4 说明叠层块上的磁通的方向效应。

图 5 说明根据本发明的块周围的磁通。

图 6 是根据本发明构成的极面的一个实施例的平面图。

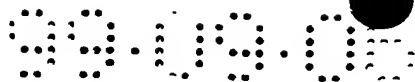


图 7 是根据本发明构成的极面的一个实施例的立视图。

图 1 中示出磁共振 (MR) 成像系统 10 的“开放式”磁体。它包括励磁装置 16、18，它们具有至少一个向相邻极片 11、13 提供磁通的励磁线圈 22、24。该磁通进入极面 15、17。励磁装置 16、18 产生磁场，该磁场产生流过极面 15 和 17 的磁通 B_0 。

一组梯度线圈 19 和 21 产生随时间变化的磁场 B ，当与静态主磁场 B_0 组合时，便在整个成像容积 23 中产生磁场梯度。

然后，磁通 B_0 在穿过成像容积 23 之后，可以穿过连接开放式磁体的两端的磁通返回结构 25。

图 2 示出极面 15 的例图和电流 I 按所标的方向流过其中的梯度线圈 19。按右手法则，电流 I 产生图中所示那样穿过环的中心的磁通 B 。于是磁通感生虚线所示的涡流 I' 。涡流 I' 产生与磁通 B 相反的另一个磁场。这降低了磁场 B 的效果，因此导致对成像磁场和磁场梯度的干扰。在具有有限导电率的结构中，涡流重新分布并随时间衰减。因此，这在取决于均匀磁场梯度的图像中产生假象。随着表面积增大，衰减时间按最小尺寸的平方增长。

图 3 中示出各种材料的磁滞效应的例图。当磁场 H 作用于材料时，它产生一定的磁化强度 M 。当诸如永久磁铁之类的材料经受所加的磁场 H 时，所导致的剩磁 M 以路径 31 在向前方向示出。当在反方向上施加磁场 H 时，磁化强度 M 跟随路径 33。当它与 M 轴交叉时，材料的磁化强度 M 称作“剩余磁化强度”。该材料以点 35 标明。

另一种磁性材料以路径 37、39 示出。路径 37 和 39 呈现较低的剩余磁化强度 41。

相对地说，与路径 37、39 相比，路径 31、33 描绘出“硬”磁性材料。

剩余磁化强度是磁性材料的矫顽效应的结果。在快速地改变所施加的、在极性上也变化的磁场的情况下这种矫顽效应变得十分重



要。当取消磁场分量时，它们还控制着磁化强度的衰减以便达到平衡。

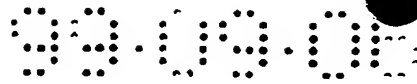
在铁磁材料的任何区域，局部磁化强度为最大值或“饱和”值。磁化强度都平行的这些局部区域称作“畴”。磁化强度方向不同的畴之间的很薄的分割区域称作“畴壁”。所加的磁场导致的平均磁化强度的改变是由于这些畴壁移动了。这些畴壁的移动会被材料内诸如孔、参杂物和小晶粒之间的边界之类的缺陷所阻碍。以通常用 H_c 表示的等效的“矫顽”磁场来表征移动这些畴壁所需要的磁场。在磁场变化之后，所述畴壁障碍导致磁滞，因此在磁场改变之后留下平均磁化强度的“剩余磁化”状态取决于初始磁化强度和磁场随时间的变化。由这种剩余磁化强度产生的外部磁场可扰乱 MR 成像系统中的成像磁场，使之偏离其所需值，导致形成假象。

这些畴壁的移动也被局部涡流抑制，所述局部涡流是在畴壁移动时因局部磁化强度的改变而产生的。这导致当磁场接通时磁化强度改变的延迟，以及当消除驱动磁场时磁化强度的衰减的延迟。这两种效应都必须得到补偿，以便使图像假象减到最少。

开放式 MR 成像的主要目标之一是降低剩余磁化强度，以便既准确又迅速地施加所述梯度。

图 4 示出由一堆叠片 47 构成的叠块 41，所述叠片 47 各自被非导电基片 49 隔开并与其结合在一起。该非导电基片可以是环氧树脂或者其它通用的电绝缘体。叠片 47 构成的块相对于块 41 的总质量的百分比称作“充填因子”。考虑到叠片 47 的材料和基片 49 的材料两者的介质常数，充填因子可以调整，以便设计具有所需磁导率的块。这可以用材料和充填因子来描述。典型地，采用环氧树脂作基片 49，用铁硼硅 (Fe-B-Si) 作叠片 47，充填因子为大约 84%，这产生比较好的结果。

在垂直于块 41 的叠片 47 的方向上施加磁通 B 。在该几何结构中，感生涡流 I_e ，它如图所示流动。对这种几何结构，感应的涡流 I_e 。



的量接近最大值。

但是，如果在平行于叠片 47 的方向上把磁通 B_1 加到块 41 上，各叠片 47 通过基片材料 49 彼此电气隔离，那么只有很短的路径供涡流 I_e 绕磁通 B_1 流动。因为流通涡流的路径非常短，所以涡流消散时间 t 非常短。这意味着与在磁通 B 方向上施加磁场时相比，涡流 I_e 衰减得快得多。

如果块 41 的各叠片 47 都由具有很小或没有结晶结构的材料构成，那么只存在较小的总磁调整效应，而这是由大型、随机晶体构成的材料中的情况。小型、随机晶体取向称作非晶态。

由于其特性，非晶材料既降低了涡流效应又降低了剩余磁化强度效应。

所采用的材料应该是非晶材料，而表现良好性能的几种是铁硼硅 Fe-B-Si、铁硼磷 Fe-B-P 和铁磷炭 Fe-P-C。因为它们具有很小的或没有结晶结构，且具有很低的矫顽效应，所以这些可认为是非晶态的。非晶材料被采用还因为它们可用来很容易地构成十分薄的叠片。

非晶材料还具有其它所需的特性。它们的电阻通常比紧密相关的晶态合金高，因此进一步抑制了涡流。

使用硼或磷来获得非晶金属态经常产生很薄的玻璃涂层，这是在浇铸工艺中表面氧化的结果。这种氧化作为叠片层之间额外的绝缘。

这样设计极面的块 41，以便它们对于平行于叠片 47 方向的磁通具有各向异性的响应，且具有不同的垂直于各叠片 47 的磁通响应。它们对平行于各叠片 47 的方向的磁通和垂直于各叠片 47 的磁通具有各向异性的频率响应。做到这一点的方法是：形成一种叠片，其材料的趋肤深度是这样设计的，使得整体特性或总特性与所需范围一致。

例如，有效介质和有效磁导率不仅取决于叠片 47 的厚度，而且取决于叠片 47 的材料和叠片之间的基片材料的介质。这可以用充填



因子的说法来描述，所述充填因子是叠片相对于总量的百分比，而基片的量是该百分比的余数。

5 叠片厚度一般应该小于“趋肤深度”。趋肤深度取决于与用于MR成像中的随时间变化的磁场梯度的波形相关的所需要的最高的工作频率。趋肤深度与频率的平方根成正比。例如，趋肤深度可为0.005英寸。

10 最高频率与施加的所需磁场梯度的形状和陡度有关。构成磁场梯度波形的最高傅里叶频率成分决定了所述最高的频率，因此就决定了趋肤深度。如果波形的拐角不必十分尖锐，则最高工作频率就会低一些。叠片越薄，所述频率越高。

一般MR成像频率大约为10kHz。一般用于基片的材料是介质常数为3的环氧树脂。

然后，将块41这样排列，以便大部分变化着的磁场磁通平行于各片。

15 不仅块41的结构和材料很重要，而且块的尺寸和间隔对于使穿过开放式磁体的极面的磁通最大化也变得很重要。图5中示出彼此相邻的两个块41，它们之间具有间隔61、63。块越小，对涡流的降低越大。但是，较小的块导致较大的块数量，它们之间的间隔也较多。因为空气间隔比块磁阻更大，所以对磁通具有较大的磁阻和较小的磁导率。

20 因此，通过选择具有适当厚度及适当材料、被适当厚度和材料的基片分隔的叠片的块，就能实现有效的介质和磁导率。通过将这些块彼此分隔适当的量，可以在平行于叠片47的方向上获得最大的磁通。与垂直于叠片的磁通相比，这有效地增加了平行于叠片方向上的相对磁通，因此降低了涡流。

25 通过部分重叠相邻层内的块，控制垂直及平行于各层的磁通的相对量。这是将磁源与磁场梯度之间的性能最佳化的一种方法。

通常在其Z轴与成像磁场柱体轴重合的柱坐标内实现成象。因



此，X 和 Y 坐标只是左、右和上下方向，对于成像目的，可能是一样的。根据这些条件，每一块的尺寸应当具有小于所需的最大的工作频率的波长的四分之一的长度、宽度（X、Y 方向上）。当考虑到块 41 之间的介质常数和磁阻时，对整个叠片区域也是同样正确。

5 所选择的材料还具有降低涡流和剩余磁化强度的特性。在选择具有更高的阻抗和呈现较高的磁导率的材料时可能会有个权衡，因为它们彼此走向相反。

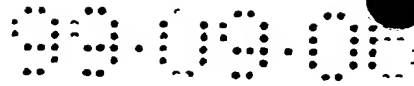
10 图 6 示出根据本发明的极面的平面图。各块 41 在此示为方块，但是它们也可以是矩形或其它形状。块 61 和 63 之间的间隔对于在垂直于块的表面和沿着块的方向上产生适当的磁通十分重要。

图 7 是示出励磁装置 16、18 的立视图，所述励磁装置具有励磁线圈 22、24 和极片 11、13，它们与几排块 41 相邻。梯度线圈 19、21 处于比极面 15、17 更接近成像容积 23 的位置。

15 在此从极面的视角示出块 61、63 之间的间隔。可以把块 41 安排成多个层 73。块 41 的层 73 之间的间隔对于产生适当的平行于块 41 的叠片 47 的磁通也很重要。

20 在另一个实施例中，在极面 15、17 和极片 11、13 之间有磁通屏蔽 12、14，它们具有比极片 11、13 低的矫顽力。这最好是铁硅的退过火的实心片。屏蔽 12、14 的目的是将来自入口极片 11、13 的、来自 MR 梯度线圈的梯度磁通（随时间变化的磁场）降到最低。这导致极片 11、13 材料的偏磁，以便将极片 11、13 的剩余磁化强度降到最低。一种常用材料是美国宾州 Brackenridge 市 Allegheny Ludlum 公司生产的 Vanadium Permendur™。因为需要在 X 和 Y 方向上具有相同的磁导率，所以在这些方向上的块尺寸和间隔一般是一样的，
25 如图 6、7 所示，但是，它们在有些应用中是不一样的。

本发明的主要结果是：通过使用不同的充填因子、不同的叠片 47 和基片 49 的材料，在相邻块 41 之间具有不同的间隔 61、63，以及在块 41 之间的间隔 71，提供在各方向上具有所需磁导率的极面。因



此，这种极面可以优先导引磁通。

新型的 MR 成像系统的几个当前的最佳实施例已经在此详细描述了，现在许多改型和变化对于本专业内的技术人员是很明显的。

因此，应该明白，所附权利要求书意在涵盖所有归入本发明的真实精神内的这种改型和变化。

5

说明书附图

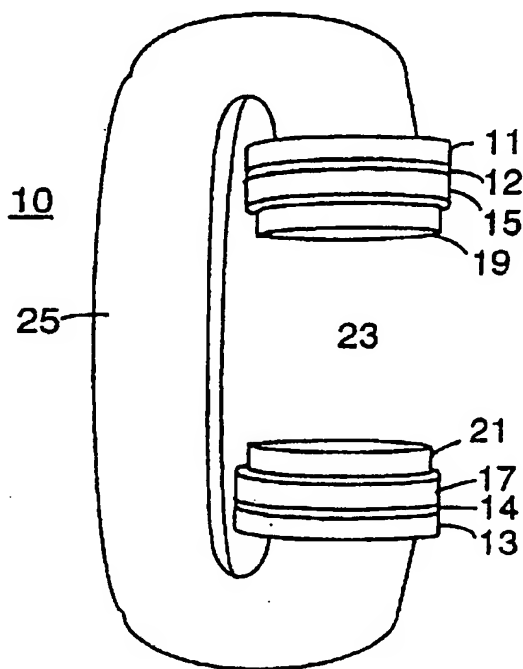


图 1

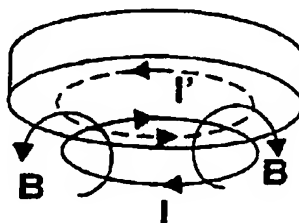


图 2

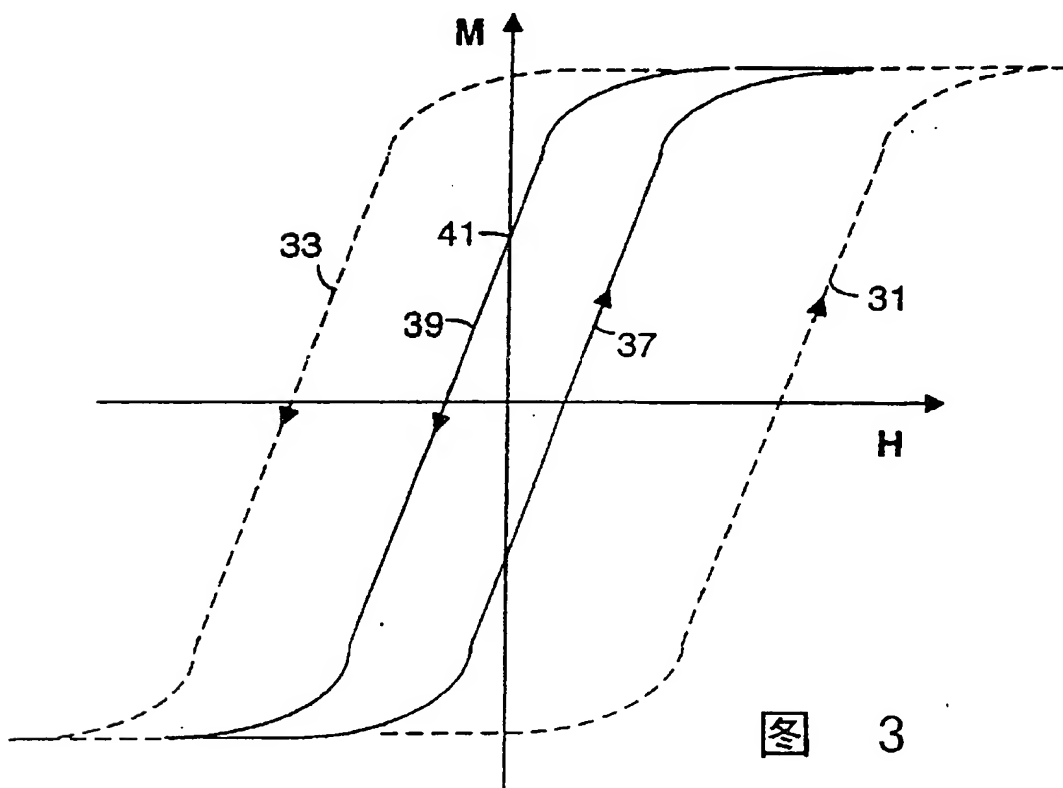


图 3

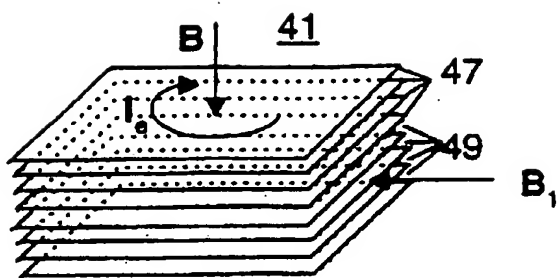


图 4

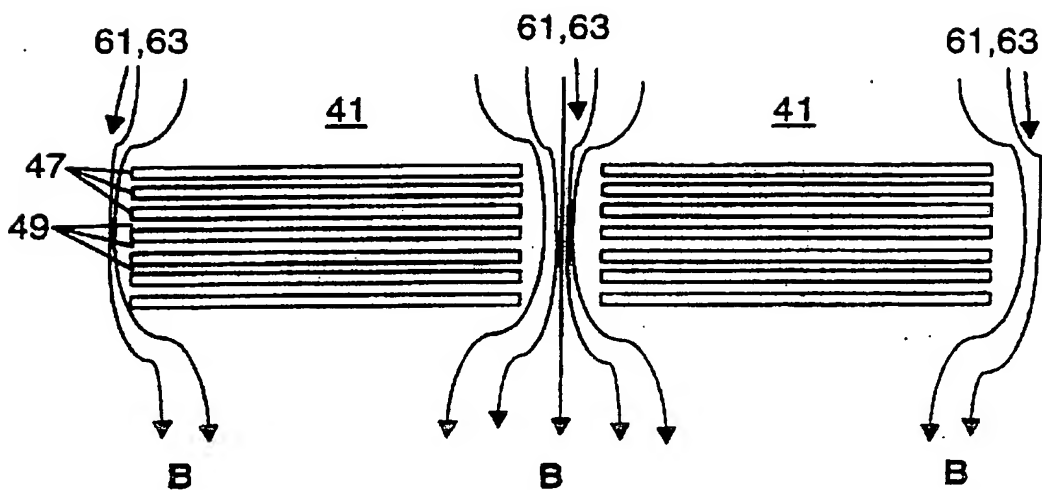


图 5

99.09.08

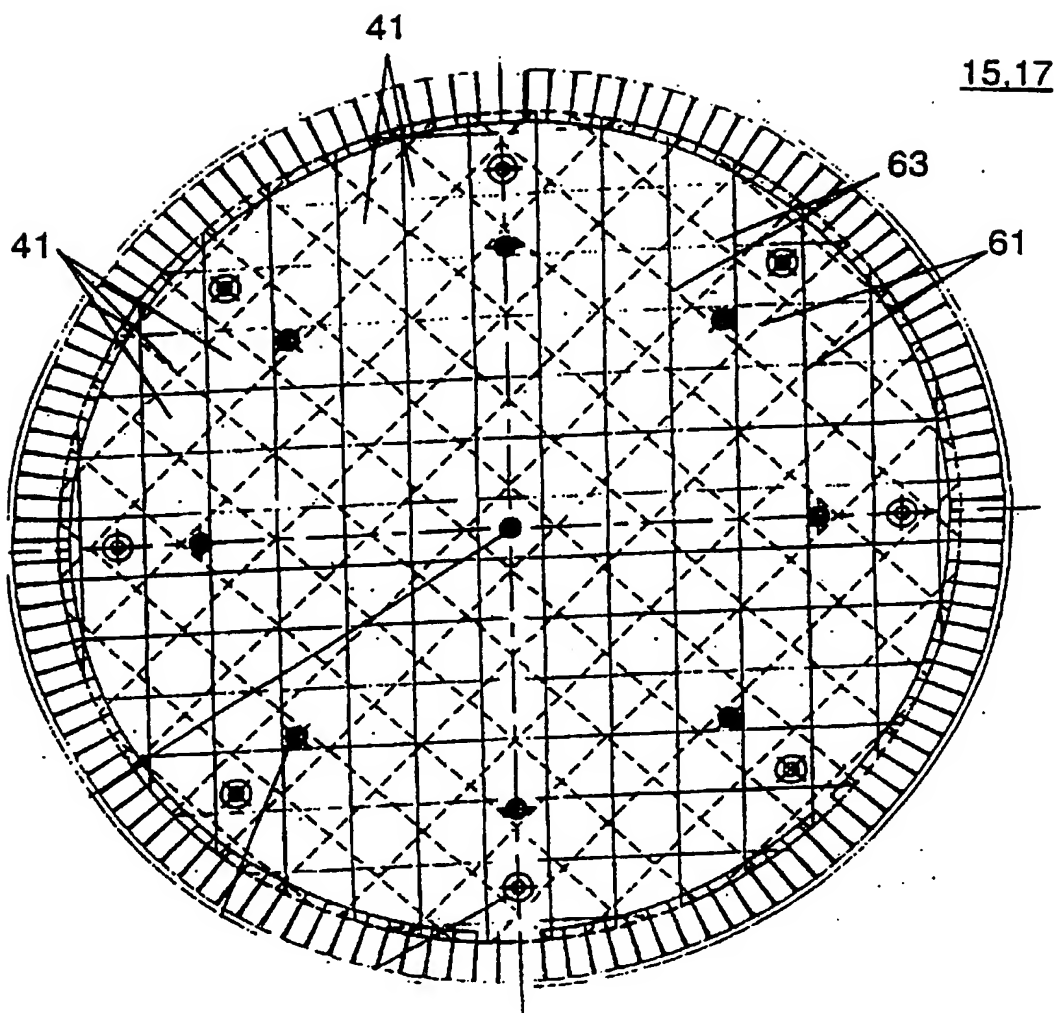


图 6

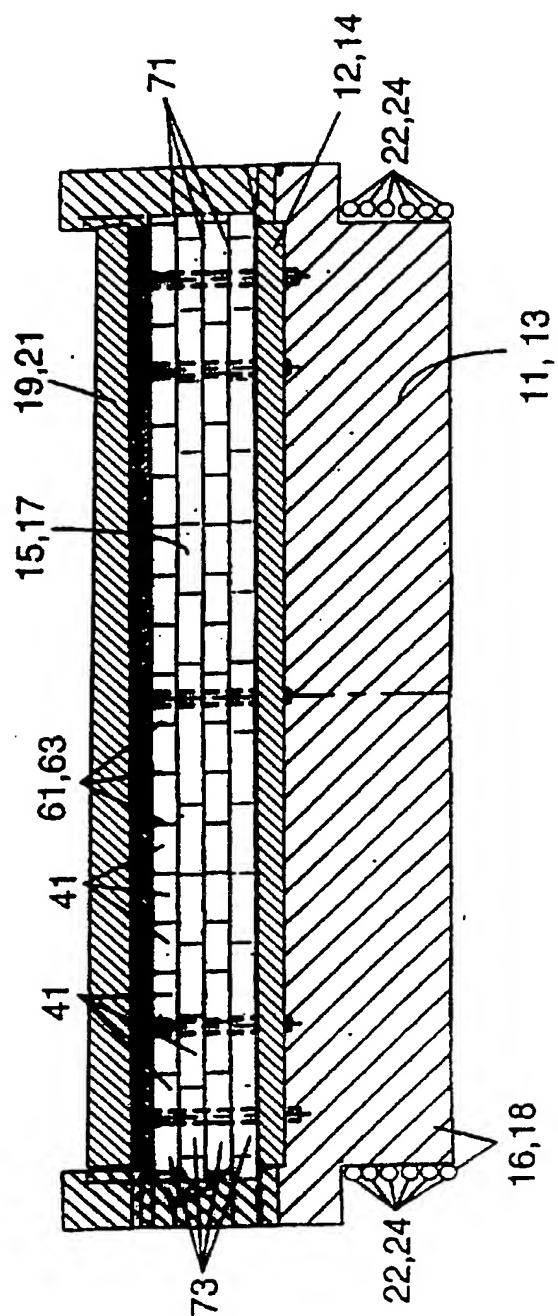


图 7

ABSTRACT FOR CN1252977A

Magnetic pole face having low vortex and low hysteresis in MR
imaging

A magnetic pole face of an open magnetic resonance imaging system is formed by a plurality of blocks having laminations. The laminations of the block is arranged so as to parallel to the magnetic flux of a magnetic field applied along with the variation of the time. Each of the laminations if formed of non-crystal material, so that there is no prominent adjustment of the magnetic field. The structure of the present utility model decreases the vortex induced in the magnetic pole and the residual magnetization, thus reducing the false image in the obtained image.